リモート風観測システムによる海陸風のスペクトル解析

長井 浩(日大生産工)

1. 緒言

日本の陸上風力発電は低周波・騒音等の住宅からの離隔 距離問題と送電線連系など立地の制限等から,火力発電並 み発電コストが風況適地では実現可能であるか導入が進ん でいない.2011年末の風力発電の累積導入設備量は2,541MW で,電力発電設備量202,117MWの1.25%と僅かな割合である. 東日本震災以降に河口沿岸域の着床式や50m以深の海域で 浮体式の洋上風力発電の開発が各地で検討が行われ始め, 茨城県神栖市や千葉県銚子市,長崎県椛島沖で商用・実証 洋上発電システムが稼働し始めた.洋上風力発電の適地は ①平均風速が高く,②乱れ強さが小さく,③風向変化が少 ない,④暴風時の極値風が低い,⑤海面利用者との共存が 要件となる.

本研究は大規模洋上ウィンドファームの実証可能性が検 討されている岩手県洋野町角の浜沿岸の 50m マスト上で連 続的に計測される 1 年間の風速データから,風向別の統計 的性質や乱れ強度ならびスペクトル形状を求め,風の乱れ スペクトル形状を決める乱れのスケールを求め解析結果の 報告を行っている.

2. 観測地点ならび観測方法

沿岸海域の風況観測のため Fig.1 に観測地点(E141.41.21, N40.26.24)の位置と航空写真を示す. 観測は 2011 年 10 月 より 1 年間の予定で,マスト上のプロペラ型風速計 (YoungCYG-5106)から 4Hz で風速と風向角を連続収録し乍 らロガーに保存する.翌日携帯電話で転送エラーと1日単位 のデータが管理用 FTP サーバに転送され,研究室よりサー バにアクセスしデータ収集を行っている.1ヶ年の計測を 実施したが未回収データは1件もなくリモート観測終了し, 信頼性の高い計測方法であることが実証された.



Fig.1 Observation point around Hirono Town



Fig.2 Remote Measurements System

3.解析方法と解析結果 3.1 統計的な解析結果

180

風況解析指標となる NED0 風況精査用の3層の寒幹期(12年 3月)における候評価時間10分の平均風速と方位別風速と頻 度分布をTab.1とFig.3に示す.太平洋沿岸であるが陸風 (西風)が卓越し海風の頻度が少なく,暖候期の観測結果の 経過を見て,風力発電導入可能性の検討が必要である.

乱流強度と平均風速の関係を Fig.4 に示す.陸(₩)風は奥 羽山脈など地形の影響を受け,海(N~SE)風は陸地の影響を 受けていないため乱れ強さは半分程度の値を示し,IEC 規格 のカテゴリ C の 0.12(15m/s)を超えていない.

Tab.1 Monthly Results of Wind Speeds at 30~50m height

		(Maximum 10min.Wind Speed) [m/s]					
Hh	'11. Oct.	'11. Nov.	'11. Dec.	'12. Jan.	'12. Feb.	'12. Mar.	10M. 6Ave.
30m	4.07(13.7)	4.29(14.4)	4.99(20.9)	5.08(13.0)	4.56(20.3)	4.78(19.6)	4.73
40m	4.36(14.7)	4.61(15.3)	5.48(20.9)	5.52(14.0)	4.98(21.4)	5.11(20.1)	5.01
50m	4.62(15.0)	4.84(15.7)	5.65(21.1)	5.70(14.5)	5.18(22.1)	5.33(20.4)	5.22
Hh	'12. Apr.	'12. May	'12. Jun.	'12. Jly.	'12. Aug.	'12. Ssp	10M. 12Ave.
30m	4.24(20.0)	3.84(16.9)	3.51(14.1)	2.50(9.0)	2.39(8.4)	4.20(13.5)	4.03
40m	4.51(21.5)	3.95(17.6)	3.58(14.6)	2.58(9.1)	2.53(8.5)	4.25(13•4)	4.29
50m	4:81(22.5)	4.22818.3)	3.81(15.3)	2.78(9.5)	2.68(9.4)	4.52(13.6)	4.51



Fig.3 Wind Roses of Ave. Wind Speed and Frequency (50m)

180

Spectra Analysis of Land and Sea Breeze using for the Remote Wind measurement System Hiroshi NAGAI, Nihon University

3.2 スペクトル解析

1時間の観測データを用いB-T法によりスペクトルを求め, 既存の風スペクトル提案式を比較を行いった.両者の代表 例をFig.5とFig.6に示す.

陸風のスペクトル密度は Karman 型や提案式とほぼ一致 するのに対し,海風は提案モデルと乖離が見られパラメー タの検討が必要である.

3.3 乱れの長さスケールの定義

Karman の提案式は、乱れのスケールを式(1)中の L_k で表 している. L_k は地表の高さの関数として式(2)のように定 義されている.

$$S(f) = \frac{4\sigma_{k}^{2} \times \frac{\tau_{k}}{U_{10}}}{\left\{1 + 70.8 \left(f \frac{L_{k}}{U_{10}}\right)^{2}\right\}^{\frac{5}{6}}}$$
(1)

$${\rm L_k} = \begin{cases} 100 {\left({{{\rm{H}}_h}} \right)^{0.5}} & (30m < {\rm{H}}_h < {\rm{Z}}_G) \\ 100 & ({\rm{H}}_h \le 30m) \end{cases} \tag{2}$$

ここで、^{**G**}kは変動速度成分の標準偏差、^{U₁₀は地上・海面からの高さ10mの平均風速である。前掲の提案式によりスペクトルを計算には、観測時系列データより直接求めた値を与える.一方,乱れスケールは自己相関関数から求めることができる。相関係数は距離rの指数関数で近似でき、この間数式を式(3)とすると、乱れの空間スケールの定義式(4)より、Lは乱れのスケールを意味することになる。}

$$\widetilde{R}(\mathbf{r}) = e^{-\frac{1}{L}}$$
(3)

$$L_{j}^{u_{i}} = \int_{0}^{\infty} \widetilde{R}_{ij}(r_{j}) dr_{j}$$
(4)

自己相関係数を= e^{-ct}とおくと,乱れの長さスケール Lは

$$L = U \int_0^\infty e^{-c\tau} d\tau = \frac{U}{c} \doteqdot 2\tau_0 U$$
(5)

と求められる.自己相関による場合、**て**の大きい範囲で必ず しも係数が0に収束せず、積分精度に問題が発生するため**て**。 を $\mathbf{\tilde{R}}(\mathbf{r})$ =0.6となる時間差**τ** = **τ**。から*L*を求め、Fig.7に示 す.³⁾ 観測結果の大気乱流中のスケール長さは、陸風の平 均は127mに対し、海風の平均は187mと陸風に比べ長い傾 向も確認された.

4. 結言

洋上風力発電の候補沿岸海域における風の性質把握のため,海・陸風のスペクトル解析を行い以下のことが云える.

- 1. 遠隔地の風観測システムとして信頼性の高い計測法が 確立され、1年間の調査で実証がされた.
- 洋野町観測地点では西風(陸風)が卓越し,強風の海風の出現頻度が少なく暖候期の結果に期待される.
- 3. 陸風は各提案式に概ね適合するが,海風の解析結果は 提案式と乖離が見られ,パラメータの同定が必要である.

謝 辞

本研究を進めるに当たり、元海上技術安全研究所の矢後 清和殿には多大なご協力と有益なアドバイスを戴き,深く 感謝申し上げます.

参考文献

1) 土谷 学,石原 孟,福本 幸成,助川 博之,大窪 一正:洋上 風力発電導入に向けた洋上風況観測,pp.121-126,第 19 回風



Fig.4 Comparison of turbulent intensity between sea and land breezes (Result of 6 months, winter season)



Fig.5 Comparison of various wind spectra in land breeze spectrum



Fig.6 Comparison of various wind spectra in sea breeze spectrum



Fig.7 Distribution of the obtained scale length between sea and land breezes(Result of 6 months, winter season)

- 2)中条 俊樹,矢後 清和:相撲湾沖合観測データに基づく海上風の性質について 第2報,日本船舶海洋工学会講演会論文集 (8)(2009-05)
- 3) 岡内功, 伊藤学, 宮田利雄: 耐風構造, 丸善, 1977 pp.72
- 4)M,K.Ochi,Y.S.Shin: Wind Turbulent Spectra for Design Consideration of Offshore Structures, Proc. of 20thOTC, pp461-467, 1988
- 5)長井 浩,岩手県洋野町沿岸における陸風と海上風のスペトル 解析,日本機械学会第 17 回動力・エネルギー技術シンポジウム 講演論文集,pp209-210, 2012